

# **Document made available under the Patent Cooperation Treaty (PCT)**

International application number: PCT/EP05/000495

International filing date: 19 January 2005 (19.01.2005)

Document type: Certified copy of priority document

Document details: Country/Office: DE

Number: 10 2004 003 013.8

Filing date: 20 January 2004 (20.01.2004)

Date of receipt at the International Bureau: 12 April 2005 (12.04.2005)

Remark: Priority document submitted or transmitted to the International Bureau in compliance with Rule 17.1(a) or (b)



World Intellectual Property Organization (WIPO) - Geneva, Switzerland  
Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle (OMPI) - Genève, Suisse

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 10 2004 003 013.8

Anmeldetag: 20. Januar 2004

Anmelder/Inhaber: FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT zur Förderung der angewandten Forschung eV, 80686 München/DE

Bezeichnung: Bilderfassungssystem und dessen Verwendung

IPC: H 04 N, G 02 B

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 23. Februar 2005  
Deutsches Patent- und Markenamt  
Der Präsident  
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Wehner".  
Wehner

Pfenning, Meinig & Partner GbR

Patentanwälte  
European Patent Attorneys  
European Trademark Attorneys

Dipl.-Ing. J. Pfenning (~1994)  
Dipl.-Phys. K. H. Meinig (~1995)  
Dr.-Ing. A. Butenschön, München  
Dipl.-Ing. J. Bergmann\*, Berlin  
Dipl.-Chem. Dr. H. Reitzle, München  
Dipl.-Ing. U. Grambow, Dresden  
Dipl.-Phys. Dr. H. Gleiter, München  
Dr.-Ing. S. Golkowsky, Berlin  
Dipl.-Chem. Dr. H. Riepe\*\*, München  
\*auch Rechtsanwalt, \*\*nur Patentanwalt

80336 München, Mozartstraße 17  
Telefon: 089/530 93 36  
Telefax: 089/53 22 29  
e-mail: muc@pmp-patent.de  
10719 Berlin, Joachimstaler Str. 10-12  
Telefon: 030/88 44 810  
Telefax: 030/88 13 689  
e-mail: bln@pmp-patent.de  
01217 Dresden, Gostritzer Str. 61-63  
Telefon: 03 51/87 18 160  
Telefax: 03 51/87 18 162  
e-mail: dd@pmp-patent.de

München  
20. Januar 2004  
039P 1952 (OZ)

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT zur  
Förderung der angewandten  
Forschung e.V.  
Hansastraße 27c

80686 München

---

Bild erfassungssystem und dessen Verwendung

---

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.  
039P 1952

Bild erfassungssystem und dessen Verwendung

Die Erfindung betrifft ein digitales Bild erfassungs-  
5 system mit minimaler Baulänge von < 1 mm. Das Bild er-  
fassungssystem besteht hierbei aus einem Mikrolinsen-  
array, einem Detektorarray und optional einem Pinho-  
le-Array. Die Funktionsweise dieses Bild erfassungs-  
systems beruht auf einer getrennten Abbildung ver-  
schiedener Raumwinkelsegmente des Objektraumes durch  
eine Vielzahl von parallelen optischen Kanälen.

Bei klassischen abbildenden optischen Systemen bildet  
ein einzelner optischer Kanal (Objektiv) alle Infor-  
15 mationen aus dem Objektraum in die Bildebene ab. Das  
Objektiv bildet den ganzen erfassbaren Winkelbereich  
des Objektraumes ab.

In S. Ogata, J. Ishida, und T. Sasano, „Optical sen-  
20 sor array in an artificial compound eye“, Opt. Eng.

33, pp. 3649-3655, November 1994, wird ein optisches Sensor-Array präsentiert. Die optischen Zusammenhänge für ein allgemeines solches System werden detailliert dargestellt. Es erfolgt eine Anbindung der Mikrooptik an photo-elektrische Bildwandlung. Aufgrund der Nutzung von Gradientenindexlinsen, die zu einem Array zusammengesetzt sind, ist die Zahl der optischen Kanäle auf 16x16 beschränkt, die Baulänge ist mit 2,9 mm weit über der hier angestrebten. Aufgrund der verwendeten Aufbautechnik kann nicht von einem monolithischen, systemintegrierten Aufbau gesprochen werden. Das gezeigte System scheint nicht bzgl. Der Länge und Zahl der Kanäle skalierbar zu sein. Das Gesichtsfeld der Anordnung ist durch die maximal mögliche Pitchdifferenz zwischen Linsen- und Pinhole-Array limitiert. Eine Anordnung mehrerer genannter Module auf einer gekrümmten Basisoberfläche zur Skalierung des Gesichtsfeldes und der Kanalzahl wird vorgeschlagen. Dies widerspricht jedoch völlig einer angestrebten Systemintegration.

Die Druckschrift K. Hamanaka und H. Koshi, „An artificial compound eye using a microlens array and its application to scale-invariant processing“, Optical Review 3 (4), pp. 264-268, 1996, betrachtet die Anordnung einer Selfoc-Linseplatte vor einem Pinhole-Array gleichen Pitches. Möglichkeiten der Bildverarbeitung und die relativ starke Objektabstandsvarianz der Anordnung werden demonstriert. Die Rückseite des Pinhole-Arrays wird mittels einer Relayoptik auf eine CCD abgebildet. Es ist damit kein direkter Anschluss der abbildenden Optik an die bildwandelnde Elektronik wie in [1] gegeben. Die Baulänge ist größer 16 mm, 50x50 Kanäle wurden realisiert. Aufgrund des gleichen Pitches von Linsenarray und Pinhole-Array ist für größere Objektabstände mit dieser An-

ordnung keine Auflösung des Objektes mehr möglich.  
Eine zusätzlich vor dem Linsenarray angebrachte Zer-  
streuungslinse erzeugt eine Vergrößerung des winkel-  
mäßigen Gesichtsfeldes, was eine verkleinernde Abbil-  
dung bedeutet und damit eine Vergrößerung des Objekt-  
abstandes bei gleichbleibender Funktion des Systems  
ermöglicht. Dies widerspricht jedoch dem Ziel der In-  
tegration. Die verwendeten Pinholeldurchmesser betra-  
gen 140 µm, was keine gute Auflösung des Systems er-  
laubt.

In J. Tanida, T. Kumagai, K. Yamada, und S. Miyatake,  
„Thin observation module by bound optics (tombo) con-  
cept and experimental verification“, Appl. Opt. 40,  
pp. 1806-1813, April 2001, wird das hinter jeder Mik-  
rolinse entstehende Mikrobild durch eine Anordnung  
einer Sub-Gruppe von Pixeln in einer Zelle aufgenom-  
men. Aus den unterschiedlichen Abständen der ver-  
schiedenen Kanäle von der optischen Achse des Arrays  
resultiert ein leichter Versatz der verschiedenen  
Mikrobilder innerhalb einer Zelle. Diese Bilder wer-  
den durch einen komplizierten Rechenformalismus zu  
einem höher aufgelösten Gesamtbild verrechnet. Als  
abbildendes Mikrolinsenarray dient ein Selfoclinse-  
narray der Dicke 650 µm mit Linsendurchmessern von  
250 µm. Die Bilderfassung erfolgt zentral hinter den  
Mikrolinsen. Es werden Trennwände aus Metall und ge-  
kreuzten Polarisationsfilter zur optischen Isolierung  
zur Minimierung des Übersprechens eingesetzt. Damit  
werden auch hier einzeln hergestellte Komponenten  
aufwändig zueinander justiert, was zur Entstehung von  
zusätzlichen Fehlerquellen und Kosten führt. Zur mög-  
lichen Erweiterung des limitierten Gesichtsfeldes  
(Einführung eines (negativen) Vergrößerungsfaktors)  
des Systems, z.B. für große Objektabstände, wird ein  
Prismenarray mit variablen Ablenkwinkeln, eine Zer-

streuungslinse oder die Integration einer Strahlablenkung in diffraktive Linsen vorgeschlagen. Dadurch würde die Systemdicke nicht erhöht. Eine konkrete Auflösung des Systems wurde nicht angegeben.

5

Die Druckschrift S. Wallstab und R. Völkel, „Flachbauendes Bilderassungssystem“, Offenlegungsschrift DE 199 17 890 A1, November 2000, beschreibt verschiedene Anordnungen für flachbauende Bilderfassungssysteme.

10

Für die der vorliegenden Erfindung nahe kommende Ausführungsvariante ist jedoch keine sinnvolle Möglichkeit der Bilderfassung für große Objektabstände angegeben (Gesichtsfelderweiterung, bzw. verkleinernde Abbildung). Insbesondere von einer Pitchdifferenz zwischen Mikrolinsenarray und Pinhole-Array oder speziell geformten Mikrolinsen ist keine Rede.

15

In M. Meyers, „Compact digital camera with segmented fields of view“, US-Patent 6,137,535, Oct. 24, 2000, wird eine flache abbildende Optik mit segmentiertem Gesichtsfeld vorgestellt. Hier wird ein Mikrolinsenarray mit dezentrierten Mikrolinsen eingesetzt, wobei die Dezentrierung von der radialen Koordinate der betrachteten Mikrolinse im Array abhängt. Auf diese Weise zeigen die Achsenstrahlen jeder Linse in ein anderes Segment des gesamten Gesichtsfeldes, jede Mikrolinse bildet einen anderen Teil des Gesichtsfeldes in ihrer Bildebene ab. Ein Photodetektorarray mit jeweils einer Sub-Gruppe von Pixeln hinter jeder Mikrolinse nimmt das Bild hinter jeder Mikrolinse auf. Die den einzelnen Gesichtsfeldsegmenten entsprechenden Bilder werden elektronisch gespiegelt und aneinandergesetzt. Eine detaillierte Beschreibung der notwendigen Elektronik wird angegeben. Baffle-Strukturen vor und hinter den Linsen verhindern das Übersprechen zwischen benachbarten Kanälen bzw.

20

25

30

35

schränken das Gesichtsfeld der einzelnen Kanäle und damit die Bildgröße ein. Die Herstellung der dezentrierten Linsen bzw. deren Urformen wird nicht angegeben. Die verschiedenen Komponenten sind auch hier getrennt voneinander herzustellen und nicht z.B. im Wafermaßstab u. U. direkt in Verbindung mit der Herstellung der Elektronik als monolithische Struktur. So wird z.B. ein Luftspalt zwischen dem Mikrolinsenarray und dem Detektorarray angegeben. Ein extremer Justageaufwand führt deshalb zu hohen Kosten bei der Herstellung. Eine deutliche Reduktion der Baulänge kann dieser Erfindung nicht zugemessen werden, da die Auswertung der einzelnen Bilder der Gesichtsfeldsegmente eine gewisse Vergrößerung der Mikrolinsen und damit eine gewisse Brennweite, bzw. Schnittweite der Linsen und daraus folgend Länge des Systems benötigt. Die Nutzung dezentrierter Mikrolinsen ist somit als Ersatz für eine große abbildende Linse zu sehen, aber ohne einen Effekt auf die Baulänge der Optik, solange nicht eine deutliche Verkleinerung der individuellen Bilder und damit Verlust an effektiver Vergrößerung bzw. Auflösungsverlust hingenommen wird. Eine mögliche Pitchdifferenz zwischen Mikrolinsenarray und Detektor-sub-gruppen zur Erzeugung einer effektiven Vergrößerung wird nicht angegeben. Die effektive (negative) Vergrößerung des Gesamtsystems wird dadurch durch die zitierte Erfindung nicht erhöht. Angegebene mögliche Systemlängen sind deshalb stets wesentlich größer als 1 mm. Es wird nicht auf die Möglichkeit hingewiesen, einer Mikrolinse jeweils nur einen Detektorpixel zuzuordnen. Dies würde durch die freie Einstellbarkeit der Dezentrierung unabhängig von der Vergrößerung der Mikrolinse insgesamt eine deutliche Erhöhung der (negativen) Vergrößerung des Gesamtsystems bzw. Verkürzung bei konstanter Vergrößerung zur Folge haben sowie eine deutliche Erhöhung der Frei-

heitsgrade zur Bildverarbeitung.

Die Druckschrift P.-F. Rüedi, P. Heim, F. Kaess, E. Grenet, F. Heitger, P.-Y. Burgi, S. Gyger und P. Nussbaum, „A 128 x 128 pixel 120 dB dynamic range vision sensor chip for image contrast and orientation extraction“, in IEEE International Solid-State Circuits Conference, Digest of Technical Papers, p. Paper 12.8, IEEE, February 2003, beschreibt einen elektronischen Sensor zur Kontrastermittlung. Dies wird als eine sehr elegante Weise zur Bildinformationsgewinnung gesehen. Nicht nur Auflösungsvermögen, sondern Beleuchtungsstärkeunabhängigkeit und Gewinnung zusätzlicher Information zu Helligkeit der Objektquellen werden hier als Möglichkeit zur Aufnahme von Bildern mit hohem Informationsgehalt gesehen. Aufgrund ihrer Architektur sind solche Sensoren allerdings mit einem geringen Füllfaktor versehen. Space filling arrays (bzw. „focal plane arrays“) werden genutzt, um den Füllfaktor zu erhöhen. Klassische Objektive werden zur Abbildung des Objektes genutzt, was die Systemlänge wesentlich erhöht und den Einsatz dieser vielversprechenden Sensoren im Alltag (z.B. im automotive Bereich) limitiert. Eine Verknüpfung der vorliegenden Erfindung mit den genannten Sensoren als Austausch für das focal plane Array und die makroskopische abbildende Optik bedeutete eine extreme Mehrwertzeugung aufgrund einer deutlichen Systemverkürzung und -integration.

Ein prinzipielles Problem bei der Realisierung der aus dem Stand der Technik bekannten abbildenden Systeme ist die Planarität der möglichen technischen Anordnungen. Off-axis-Aberrationen, die durch die Anordnung auf gekrümmten Oberflächen vermieden werden könnten, limitieren durch die Herstellung in Planar-

technik, d.h. Lithographie, die Bildqualität oder schränken das Gesichtsfeld ein. Diese Einschränkungen sollen durch Teile der vorliegenden Erfindung aufgehoben werden.

5

Ausgehend von diesen Nachteilen des Standes der Technik ist es Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Bilderfassungssystem bereitzustellen, das verbesserte Eigenschaften bezüglich mechanischer und optischer Parameter, wie Systemlänge, Gesichtsfeld, Auflösungsvermögen, Bildgröße und Lichtstärke besitzt.

10

15 Diese Aufgabe wird durch das Bilderfassungssystem mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Die Verwendung derartiger Bilderfassungssysteme wird in Anspruch 24 beschrieben. Die weiteren abhängigen Ansprüche zeigen vorteilhafte Weiterbildungen auf.

20

Erfindungsgemäß wird ein Bilderfassungssystem aus regelmäßig angeordneten optischen Kanälen mit einer Mikrolinse und einem in dessen Brennlinie liegenden Detektor, der aus dem Mikrobild hinter der Mikrolinse einen Bildpunkt extrahiert, bereitgestellt. Hierbei wiesen die optischen Achsen der einzelnen optischen Kanäle unterschiedliche Neigungen auf, so dass sie eine Funktion des Abstandes des optischen Kanals vom Mittelpunkt der zum Bild gewandten Seite des Bilderfassungssystems darstellen und damit das Verhältnis der Größe des Gesichtsfeldes der Optik zur Bildfeldgröße gezielt einstellbar ist.

25

30 Die beschriebene flache Kamera besteht aus einem Mikrolinsenarray und einem, in dessen Brennebene liegenden Detektorarray bzw. einem optionalen Pinhole-Array, welches ein Detektorarray größerer aktiver Flächen als die der Pixel abdeckt. In der Bildebene

35

jeder Mikrolinse entsteht ein Mikrobild des Objektes, welches durch das Detektor- oder Pinhole-Array statisch abgetastet wird. Jeder Mikrolinse ist ein oder sind wenige photosensitiver Pixel, z.B. mit unterschiedlichen Funktionen, wie z.B. spektralen Empfindlichkeiten, zugeordnet. Durch den auf verschiedene Weisen erzeugten Versatz des photosensitiven Pixels innerhalb des Mikrobildes von Zelle zu Zelle wird über das gesamte Array das komplette Bild abgetastet und aufgenommen. Die Neigung der optischen Achse eines optischen Kanals bestehend aus einer Mikrolinse und einem aus dem Mikrobild hinter dieser Linse einen Bildpunkt extrahierendem Detektor, bzw. diesen abdeckenden Pinholes ist eine Funktion seiner radialen Koordinate im Array.

Idealerweise sind die benachbarten Zellen optisch isoliert (vgl. Fig. 2). Dies verhindert ein Übersprechen, das zu einem verringerten Singal-Rausch-Verhältnis des abbildenden System führt. Durch die auf verschiedene Weisen zu gewährleistenden geneigten optischen Achsen beobachten sie getrennt von, bzw. nur mit minimalem winkelmaßigen Überlapp zu den benachbarten abbildenden Einheiten den Objektraum (vgl. Fig. 1). Jeder optische Kanal liefert deshalb einen Bildpixel (u. U. in verschiedenen Farben) der einem Raumwinkelbereich im Objektraum innerhalb des Gesichtsfeldes der gesamten Optik entspricht. ~~Die Zusammenführung aller von den einzelnen optischen Kanälen gelieferten Signale erlaubt die Rekonstruktion der Objektverteilung.~~ Die genannte Anordnung ist vorteilhaft kombinierbar besonders mit photo-elektronischen Sensoren, die eine große Empfindlichkeit bzw. Kontrastsensitivität aufweisen, aber einen relativ großen Pitch bei kleinen Pixeln besitzen (geringerer Füllfaktor). Die beschriebene Anordnung wird

mit modernen mikrooptischen Technologien im System- und Wafermaßstab erzeugt. Aufwändige Zusammenbau- und Justierschritte einzeln gefertigter Komponenten entfallen dadurch. Eine größtmögliche Systemintegration, Präzision und Preisattraktivität ist die Folge. Die Zahl der optischen Kanäle kann der Anwendung entsprechend angepasst werden und im Bereich von sinnvoll 10x10 bis 1000x1000 Kanälen (für hochauflöste Bilder) variieren.

Je nach Größe der Mikrolinsen und Bildweite (Dicke der Kamera) kann laterale Ausdehnung des Kamerachips unter 1x1 mm<sup>2</sup> aber auch mehr als 10x10 mm<sup>2</sup> betragen. Auch nicht quadratische Anordnungen sind denkbar, um an Detektorgeometrie oder an die Form des Gesichtsfeldes anzupassen. Nicht runde Linsen (Anamorphoten) zur Korrektur der außeraxialen Aberrationen sind vorstellbar.

Wesentliche Vorteile können durch folgende gesichtsfeldvergrößernde bzw. den Abbildungsmaßstab verringende und individuell an Einfallswinkel angepasste Anordnungen erreicht werden:

1. Individuell generierte Off-axis (bzw. dézentrierte) Linsen refraktiv (vg. Fig. 5), diffraktiv und hybrid, Dezentrierung ist Funktion der radialen Koordinate der betrachteten Zelle im Array.
2. Mikrolinsenarrays auf gekrümmten Oberflächen (vgl. Fig. 6), die Basisfläche kann auch konkav geformt sein
3. Integration von Mikoprismen in Linsenarrays

4. Kombination diffraktiver linear ablenkender Strukturen mit Mikrolinsenarrays
5. Mikrolinsenarrays bestehend aus Fresnel- oder diffraktiven Linsen mit jeweiliger Einfallswinkelanpassung.

Alle diese Punkte können als Mikrolinsenarrays mit über dem Array nicht konstanten Parametern zusammengefasst werden.

Anmerkungen zu den einzelnen Methoden:

- zu 1. (s. Fig. 5) Off-axis Linsen mit individuellen Parametern der einzelnen Linsen, wie Dezentrierung und Brennweite, sowie konische oder Asphären- Parameter, können z.B. mit Hilfe eines Laserschreibers mit möglicher nachfolgender Abformung generiert werden. Diese individuellen Linsen erlauben die Anpassung der Linsenparameter zur korrekten Einstellung der Ablenkrichtung, als auch der Korrektur der off-axis Aberrationen für den zentralen Hauptstrahl. Die Linsen sind dezentriert über dem Zentrum der Zellen, um eine Ablenkung zu bewirken. Diese Funktion kann auch als Prismenwirkung interpretiert werden. In dieser Ausführung können die Pinholes zentriert in den individuellen Zellen verbleiben, aber auch als Funktion der radialen Koordinate der betrachteten Zelle im Array aus der Mitte der Zelle versetzt sein. Dies verursacht zusätzlich zu der Dezentrierung der Linse eine weitere Vergrößerung des Gesichtsfeldes.
- zu 2. (s. Fig. 6) Mikrolinsenarrays auf gekrümmten Oberflächen können ebenfalls mit Hilfe eines Laserschreibers und Abformung oder durch Abfor-

mung konventionell erzeugte Mikrolinsenarrays mit deformierbaren Prägestempeln generiert werden. Je nach Anwendung können alle Mikrolinsen die gleichen Parameter besitzen, oder die Linsenparameter müssen variiert werden, dass jede Mikrolinse stets auf den entsprechenden Rezeptor tatsächlich fokussiert (vgl. Fig.6). Trennwände zur Vermeidung des Obersprechens sind auch hier vorteilhaft. Durch die Anordnung der Mikrolinsenarrays auf einer gekrümmten Oberfläche sind die optischen Achsen der Anordnung automatisch geneigt. Off-axis Aberrationen werden vermieden, da die zentralen Hauptstrahlen stets senkrecht durch die Linsen gehen.

zu 3. Analog 1. refraktive ablenkende Struktur, eventuell auf getrennten Substraten.

zu 4. Die Funktion einer off-axis Linse kann auch durch Kombination eines Schmelzlinsenarrays von identischen Linsen mit diffraktiven, linear ablenkenden, individuell als Funktion der radialen Koordinate der Zelle im Array an die Zelle angepasste Strukturen erzielt werden --> hybride Strukturen

zu 5. Die mit Hilfe eines z.B. Laserschreibers erzeugbaren Strukturhöhen sind begrenzt. Mikrolinsenarrays mit Linsen hoher Scheitelhöhe und/oder starker Dezentrierung können schnell diese Maximalwerte überschreiten, wenn glatte, ununterbrochene Strukturen für die einzelnen Linsen gefordert werden. Die Unterteilung der glatten Linsenstruktur in einzelne Segmente und jeweilige Herabsetzung auf das niedrigst mögliche Höhenniveau (große ganzzahlige Vielfache von 2 Pi) resultiert in einer Fresnellinsenstruktur niedrigerer Scheitelhöhe mit jeweili-  
ger Einfallswinkelanpassung, die im Extremfall

sehr kleiner Perioden in diffraktive Linsen übergeht.

Durch die Aufweitung des Gesichtsfeldes bei gleichbleibender Gesamtbildfeldgröße und Größe des Akzeptanzwinkels der einzelnen optischen Kanäle kann weiterhin eine sinnvolle Anpassung des Samplingwinkels an den Akzeptanzwinkel erreicht werden.

Eine deutliche Verbesserung der Eigenschaften der beschriebenen Erfindung kann durch eine zusätzliche Anordnung der Detektoren auf eine gekrümmten Basisfläche, wie in Fig. 7 dargestellt, erreicht werden. Der Krümmungsradius der Kugelschale, auf der sich die Detektoren befinden, ist gerade so viel kleiner zu wählen, als der der Kugelschale, auf der sich die Mikrolinsen befinden, dass Mikrolinsen gleicher Brennweite auf der ersten Kugelschale exakt auf die Rezeptoren auf der zweiten Kugelschale fokussieren. Die beiden Kugelschalen sind konzentrisch. Durch die Wahl dieser Anordnung resultiert die Abbildung eines großen Gesichtsfeldes, ohne off-axis-Aberrationen, da ein optischer Kanal für einen gerade durch dieses abzubildenden Objektpunkt stets achsensymmetrisch ist. Identische Mikrolinsen können eingesetzt werden.

Als mögliche Anwendungen für die genannte Erfindung ist der Einsatz als integraler Bestandteil in flächbauenden Kleingeräten wie beispielsweise Uhren, Notebooks, PDAs oder Organizers, Mobiltelefonen, Brillen, Kleidungsstücken, zur Überwachung und Sicherheitstechnik, sowie zur Kontrolle und Durchsetzung von Zugangs- oder Nutzungsberechtigungen denkbar. Eine weitere, hoch attraktive Anwendung ist der Einsatz als Kamera in einer Kreditkarte bzw. im allgemeinen Fall Chipkarte. Eine Kamera als Aufkleber und als ultra-

flaches Bilderfassungssystem für Machine Vision auch im Automotive Bereich sowie auch in der Medizintechnik wird durch die erfindungsgemäße Anordnung ermöglicht.

5

Sowohl CMOS- als auch CCD-Sensoren können zur photoelektrischen Bildwandlung genutzt werden. Besonders attraktiv sind hier abgedünnte und rückseitig beleuchtete Detektoren, da sie sich besonders einfach für eine direkte Verbindung mit der Optik eignen und außerdem weitere Vorteile bzgl. der Sensitivität aufweisen.

10

Anhand der nachfolgenden Figuren soll der erfindungsgemäße Gegenstand näher erläutert werden, ohne diesen auf die speziellen Ausführungsvarianten einschränken zu wollen.

15

20

25

Fig. 1 zeigt eine Seitenansicht einer Ausführungsvariante des ultraflachen Kamerasytems notwendigerweise bestehend aus Mikrolinsenarray, Substrat und Pinhole-Array. Durch einen etwas geringeren Pitch des Pinhole-Arrays verglichen mit dem Linsenarray wandert die Richtung der optischen Achsen nach außen, wenn man zu äußeren Kanälen geht. Diese Anordnung kann direkt auf eine Elektronik mit passendem Pixelpitch abstandslos aufgesetzt werden.

30

35

Fig. 2 zeigt eine Ausführungsvariante analog Fig. 1, aber mit Lichtschutzwänden. Eine Blendenschicht befindet sich auf einem Substrat, welches auch durch die photosensitive Elektronik als Träger ersetzt werden kann. Transparente Türme bilden den Abstandshalter zwischen Mikrolinsen und Pinholes. Die Zwischenräume zwischen den Türmen werden mit nichttransparentem (absorbierendem) Material gefüllt, um eine opti-

sche Isolierung der individuellen Kanäle zu erzielen.

Fig. 3 zeigt einen möglichen Herstellungsprozess für die Variante in Fig. 2. Nach Variante 7 werden Substrate mit dem Pinhole-Array beschichtet. Nach Variante 8 werden SU8 Podeste (Türme) aufgebracht, die Zwischenräume zwischen den Türmen werden mit absorberendem Material (PSK) gefüllt. Nach Variante 9 werden Mikrolinsenarrays justiert zu den Pinhole-Arrays aufgebracht.

Fig. 4 zeigt eine Darstellung einer Ausführungsvariante. 300  $\mu\text{m}$  dickes Substrat mit Pinhole-Array auf der Rückseite und UV-abgeformten Mikrolinsenarray mit einer Polymerdicke von 20  $\mu\text{m}$  auf der Vorderseite. Aus der Pitchdifferenz zwischen Mikrolinsen- und Pinhole-Array resultieren geneigte optische Achsen und damit eine effektive Verkleinerung. Diese Anordnung kann direkt auf eine bildgebende Elektronik mit Pixeln passenden Pitches aufgeklebt werden.

Fig. 5 zeigt eine ultraflache Kamera mit Linsenarray aus Off-axis Linsensegmenten, die Dezentrierung ist abhängig von Blickrichtung des Kanals bzw. radialen Position im Array (Prismawirkung).

Fig. 6 zeigt eine ultraflache Kamera mit Linsenarray auf gekrümmter Basis, die Brennweiten der Linsen sind kanalabhängig. Trotz großen Gesichtsfeldes gibt es keine Off-axis-Aberrationen für die zentralen Hauptstrahlen, da diese stets senkrecht auf der Linsenbasis stehen. Ebenso ist eine Zerstreuungslinse als Basisfläche denkbar, das resultierende Gesamtbild ist dann umgekehrt.

35

Fig. 7 zeigt eine ultraflache Kamera mit Linsenarray

und Detektorarray auf gekrümmter Basis. Die Brennweiten der Linsen können hier alle gleich sein. Trotz großen Gesichtsfeldes gibt es keine Off-axis Aberrationen für die zentralen Hauptstrahlen, da diese stets senkrecht auf der Linsenbasis stehen. Ebenso ist eine Zerstreuungslinse als Basisfläche denkbar, das resultierende Gesamtbild ist dann umgekehrt.

Fig. 1 zeigt eine Variante des erfindungsgemäßen Ge-  
genstandes. In Fig. 1 bedeuten:

- 1: Akzeptanzbereich eines opt. Kanals ( $\Delta\phi$ )
- 2: Sampling des FOV (Samplingwinkel  $\Delta\Phi$ )
- 3: Linsenarray, Linsen mit Durchmesser D und Brenn-  
weite f sind zentriert in Zellen mit Pitch p
- 4: Substrat
- 5: Pinhole array (in Metallschicht), Pinhole Versatz  
in Zellen bestimmt Blickrichtung, Durchmesser des  
Pinholes d bestimmt Akzeptanzwinkel  $\Delta\phi$

Auf verschiedene Weisen erzeugbare (hier durch Pitch-  
differenz des Mikrolinsenarrays und des Pinhole-  
Arrays) nach außen an Neigung zunehmende optische  
Achsen zur Erzielung der (negativen) vergrößerten Ab-  
bildung bedeuten, dass eine Quelle in der Objektver-  
teilung nur ein Signal in einem entsprechenden photo-  
sensitiven Pixel liefert, wenn sie sich auf oder nahe  
der optischen Achse des entsprechenden optischen Ka-  
nals befindet. Entfernt sich der Quellpunkt von der  
betrachteten optischen Achse, so sinkt das Signal des  
entsprechenden Detektors, aber das in einem anderen,  
zu einem benachbarten optischen Kanal gehörigen, an  
dessen optische Achse sich der Quellpunkt nun annä-  
hert, steigt möglicherweise. Auf diese Weise wird ei-  
ne Objektverteilung durch die Signalstärken der ent-  
sprechenden angesprochenen Detektorpixel repräsen-  
tiert.

5 Diese Anordnung liefert ein Abbild des Objektes mit deutlich stärkerer Vergrößerung als hinter einer individuellen Mikrolinse zu beobachten ist, bei deutlich kürzerer Baulänge als klassische Objektive mit vergleichbarer Vergrößerung.

10 Die Neigung der optischen Achsen kann sich als Funktion der radialen Koordinate der betrachteten Zelle im Array sowohl nach außen (Fig. 1), d.h. von der optischen Achse des Arrays weg, als auch nach innen erhöhen, d.h. hin zu der optischen Achse des Arrays hin. Es resultiert entweder ein aufrechtes oder ein umgekehrtes Gesamtabbild.

15 Das Auflösungsvermögen der genannten Erfindung ist durch das Inkrement der Neigung der optischen Achsen, dem Samplingwinkel  $\Delta\Phi$  und durch den Raumwinkel, welcher von einem optischen Kanal als ein Bildpunkt wiedergegeben wird, dem sogenannten Akzeptanzwinkel  $\Delta\phi$ , bestimmt. Der Akzeptanzwinkel  $\Delta\phi$  ergibt sich aus der Faltung der Punktbildverwaschungsfunktion der Mikrolinse für den gegebenen Einfallswinkel mit der Apertur des Pinholes, bzw. aktiven Fläche des Detektorpixels und der Brennweite der Mikrolinse. Die maximale Zahl der auflösaren Linienpaare über das Gesichtsfeld ist nun genau die halbe Zahl der optischen Kanäle, wenn deren Akzeptanzwinkel (FWHM) nicht größer als der Samplingwinkel sind (Nyquist Kriterium). Sind 20 die Akzeptanzwinkel jedoch verglichen mit dem Samplingwinkel sehr groß, so spielt die Zahl der optischen Kanäle keine Rolle mehr, sondern die Periode auflösbarer Linienpaare ist so groß, wie der Akzeptanzwinkel (FWHM). Eine sinnvolle Abstimmung von  $\Delta\phi$  25 und  $\Delta\Phi$  ist damit essenziell.

Je nach Größe der photosensitiven Pixel kann die Abdeckung des Detektorarrays mit einem Pinhole-Array nötig sein. Dies steigert das Auflösungsvermögen, verringert jedoch die Sensitivität/Transmission der Anordnung aufgrund der geringeren Detektorfläche.

Alternativ zu nur einem aktiven Pixel pro optischem Kanal können auch mehrere Pixel unterschiedlicher Funktionen in einem optischen Kanal eingesetzt werden. So können z.B. verschiedene Farbpixel (RG) in einer Zelle angeordnet sein, oder Pixel mit großen Abständen innerhalb einer Zelle, die verschiedene Blickrichtungen (Neigungen der optischen Achsen) realisieren (tasten andere Stellen des Mikrobildes in einer Zelle ab), und durch einen Überlapp mit Blickrichtungen anderer solcher Pixel in weiter entfernten Zellen zur Steigerung der Sensitivität der gesamten Anordnung, ohne Auflösungsverlust bewirken.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung als sinnvoll erachtete und damit angestrebte Pinholedurchmesser liegen von 1  $\mu\text{m}$  bis 10  $\mu\text{m}$ .

In Fig. 2 ist eine ähnliche Anordnung wie in Fig. 1 dargestellt, jedoch mit lithographisch hergestellten Trennwänden zwischen den einzelnen Zellen. In Fig. 2 bedeuten:

- 1': Akzeptanzbereich eines opt. Kanals (PSF Pinhole/Brennweite)
- 2': Sampling des FOV (Pinholeversatz/Brennweite)
- 3': Linsenarray, Linsen zentriert in Zellen
- 4': Substrat (nur als Träger)
- 5': Pinholearray (Metallblenden), Pinholeversatz zur Realisierung des FOV
- 6': Zellen mit Lichtschutzwänden

5

10

15

20

25

30

35

Diese Lichtschutzwände bewirken, dass Quellpunkte, die sich außerhalb des eigentlichen Gesichtsfeldes eines Kanals befinden, durch diesen auf Detektoren des Nachbarkanals abgebildet werden. Aufgrund der starken off-axis Aberrationen bei der Abbildung schief einfallender Bündel sind die so übertragenen Bildpunkte jedoch stark defokussiert. Eine deutliche Verringerung des Signal-Rausch-Verhältnisses der Abbildung wäre die Folge.

Fig. 3 zeigt eine mögliche lithographische Herstellungsvariante eines Systems mit Lichtschutzwänden. Die flache Kamera kann im Endeffekt als eine dünne Polymerschicht auf die Elektronik aufgebracht werden, die dann gleichzeitig als Substrat dient.

Für die Herstellung der Linsen sind verschiedenste Technologien denkbar. So können in der Mikrooptik etablierte Technologien wie der Reflow-Prozess (für runde oder elliptische Linsen), Abformung von UV-härtbarem Polymer (UV-Reaktionsguß) oder Ätzen (RIE) in Glas eingesetzt werden. Spählen und Asphären als Linsen sind möglich. Weitere Varianten der Herstellung können Prägen oder Drucken auf eine Kunststofffolie sein. Die Ausbildung als Kunststoff-, Formpress-, oder Spritzgussteil bzw. auch als heißgeprägte dünne Kunststoffplatte, in die auch bereits die Trennwände („Baffles“) eingelassen sein können, ist ebenfalls denkbar. Die Linsen können refraktiv, diffraktiv oder refraktiv-diffraktiv (hybrid) ausgebildet sein. Das System kann nach Aufschleudern eines Polymers u. U. direkt auf die Elektronik aufgeprägt oder anderweitig abgeformt werden.

Fig. 4 zeigt eine bereits realisierte Ausführungsvariante. Eine 20  $\mu\text{m}$  dicke Polymerschicht 10 auf der Vorderseite eines 300  $\mu\text{m}$  dicken Glas-Substrates 11 enthält die nötigen Mikrolinsen. Auf der Rückseite des Substrates befindet sich ein Pinhole-Array 12 leicht geringeren Pitches als das Mikrolinsenarray in einer Metallschicht. Diese Anordnung liefert ein Abbild des Objektes mit deutlich stärkerer Vergrößerung als hinter einer individuellen Mikrolinse zu beobachten ist, bei deutlich kürzerer Baulänge als klassische Objektive mit vergleichbarer Vergrößerung. Die Substratdicke ist gleich der Brennweite der Mikrolinsen eingestellt, so dass sich das Pinhole-Array in der Bildebene des Mikrolinsenarrays befindet.

Der Linsendurchmesser beträgt 85  $\mu\text{m}$ , die Größe des abgetasteten Bildfeldes 60  $\mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ , der Pitch der optischen Kanäle ist 90  $\mu\text{m}$ . Das Gesichtsfeld für rotationssymmetrische Linsen ist durch die sinnvolle NA der Linsen von 0,19 auf 15° entlang der Diagonalen eingeschränkt. Die Zahl der optischen Kanäle ist 101 x 101, dem entspricht die Zahl der entstehenden Bildpunkte.

Das zum Abdecken des Detektorarrays nötige Pinhole-Array besteht aus Material geringer/minimaler Transmission. Hierfür eignen sich besonders Metallbeschichtungen. Diese haben allerdings den Nachteil hoher Reflektivität, was zu Streulicht innerhalb des Systems führt. Ein Ersatz der Metallschicht durch ein mit Pinholes strukturiertes schwarzes Polymer ist vorteilhaft zur Reduktion des Streulichtes. Eine Kombination von schwarzer Polymerschicht und Metallschicht erlaubt eine geringe Transmission bei gleichzeitig geringer Reflexion.

Wesentliche Vorteile der hier dargestellten Erfindung sind die Möglichkeiten der Einstellung der Vergrößerung des Gesamtsystems (Verhältnis der Größe des Gesichtsfeldes der Optik zu Bildfeldgröße). Aus der Herstellung einer flachen Kamera mit einem homogenen Linsenarray (alle Linsen sind äquivalent) in lithographischer Planartechnik resultiert eine Einschränkung des Gesichtsfeldes der Gesamtanordnung. Die volle Größe des Gesichtsfeldes ist dann durch  $\text{FOV} = \arctan(a/f)$  gegeben, wobei  $a$  die Größe des abtastbaren Mikrobildes (kann maximal so groß wie der Linsenpitch  $p$  werden) und  $f$  die Brennweite der Mikrolinse ist (s. Fig. 1). Das Mikrobild kann nur sinnvoll abgetastet werden, solange das abtastende Pinhole nicht aus dem Bildbereich der entsprechenden Mikrolinse herauswandert. Eine Vergrößerung des Bildbereiches kann bei Nutzung des größtmöglichen Füllfaktors für das Mikrolinsenarray nur bedeuten, dass auch der Linsendurchmesser (in quadratischer Anordnung gleich Linsenpitch  $p$ ) vergrößert werden muss. Damit lässt sich unter der Berücksichtigung von  $\text{NA}=p/2f$  im Idealfall  $a=p$  mit  $\text{NA}$  als Numerischer Apertur der Mikrolinse obige Gleichung für die Berechnung des Gesichtsfeldes zu  $\text{FOV} = \arctan(2\text{NA})$  umschreiben. Die Größe des Gesichtsfeldes der beschriebenen Anordnung ist damit durch die Größe der Numerischen Apertur der Mikrolinse bestimmt. Eine beliebige Vergrößerung der  $\text{NA}$  der Linsen ist aufgrund der Zunahme der Größe der Aberrationen nicht möglich, selbst bei Nutzung asphärischer Mikrolinsen durch das große zu verarbeitende Winkelspektrum.

Eine sinnvolle Möglichkeit zur Einstellung der Pitchdifferenz zwischen Mikrolinsen- und Pinhole-Array ist  $\Delta p=a(1-N/(N-1))$  mit  $N$  als der Anzahl der Zellen in einer Dimension der flachen Kamera.

Eine Kombination von einer Pitchdifferenz zwischen  
Mikrolinsenarray und Pinhole-Array mit ablenkenden  
5 Elementen (Fig. 5) oder die Anordnung der Linsen bzw.  
der kompletten optischen Kanäle, also einschließlich  
Detektoren, auf einer gekrümmten Basisfläche (Fig.  
6), erscheint als eine Lösungsmöglichkeit um das Ge-  
sichtsfeld bei gleicher Bildfeldgröße zu vergrößern  
10 und damit die Vergrößerung der Gesamtanordnung zu  
verringern. Die Gesichtsfelderweiterung bzw. Verrin-  
gerung der Vergrößerung durch verschiedene, hier be-  
schriebene und untereinander kombinierbare Methoden  
15 ist ein wesentlicher Punkt der vorliegenden Erfin-  
dung.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.

039P 1952

Patentansprüche

5

1. Bilderfassungssystem aus regelmäßig angeordneten optischen Kanälen mit einer Mikrolinse und einem in dessen Brennebene liegenden Detektor, der aus dem Mikrobild hinter der Mikrolinse einen Bildpunkt extrahiert,

10

dadurch gekennzeichnet,

15

dass die optischen Achsen der einzelnen optischen Kanäle unterschiedliche Neigungen derart aufweisen, dass sie eine Funktion des Abstandes des optischen Kanals vom Mittelpunkt der zum Bild gewandten Seite des Bilderfassungssystems darstellen, und damit das Verhältnis der Größe des Gesichtsfeldes der Optik zur Bildfeldgröße gezielt einstellbar ist.

20

2. Bilderfassungssystem nach Anspruch 1,

25

dadurch gekennzeichnet, dass jeder optische Kanal ein bestimmtes Raumwinkelsegment des Objektraumes als korrespondierenden Bildpunkt erfasst, so dass die Gesamtheit der übertragenen Bildpunkte auf dem Detektorarray eine Rekonstruktion des Objektes erlaubt.

30

3. Bilderfassungssystem nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass der Mittenabstand, d.h. Pitch, der Mikrolinsen sich leicht von dem Pitch der Detektoren unterscheidet, um eine un-

terschiedliche Neigung der optischen Achsen für die einzelnen Kanäle zu gewährleisten.

4. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-  
5 den Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass sich die einzelnen  
10 Mikrolinsen hinsichtlich der Dezentrierung ge-  
genüber dem Detektor, der Brennweite, der koni-  
schen und/oder asphärischen Parameter unter-  
scheiden und somit unterschiedliche Neigungen

der optischen Achsen ermöglichen.

- 15 5. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass in den einzelnen  
20 Mikrolinsen Mikroprismen integriert sind, die  
unterschiedliche Neigungen der optischen Achsen  
ermöglichen.

6. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass die einzelnen Mik-  
rolinsen auf einer konvex oder konkav geformten  
Basisfläche angeordnet sind und somit unter-  
schiedliche Neigungen der optischen Achsen er-  
möglichen.

30

7. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche,

5 dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren auf  
einer konvex oder konkav geformten Basisfläche  
angeordnet sind.

8. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche,

10 dadurch gekennzeichnet, dass die unterschiedli-  
chen Neigungen der optischen Achsen der opti-  
schen Kanäle frei von außeraxialen Aberrationen  
sind.

15 9. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche,

20 dadurch gekennzeichnet, dass Detektoren mit der-  
art hoher Empfindlichkeit eingesetzt werden,  
dass diese einen großen Pitch bei kleiner akti-  
ver Fläche und damit einen geringen Füllfaktor  
aufweisen.

25 10. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-  
den Ansprüche,

30 dadurch gekennzeichnet, dass das Bilderfassungs-  
system eine Baulänge von weniger als 1 mm auf-  
weist.

11. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-den Ansprüche,  
5 dadurch gekennzeichnet, dass die Zahl der opti-schen Kanäle im Bereich von  $10 \times 10$  bis  $1000 \times 1000$  liegt.
- 10 12. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-den Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Größe der opti-schen Kanäle im Bereich von  $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$  bis  $1\text{mm} \times 1\text{mm}$  liegt.  
15 13. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-den Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die regelmäßige An-ordnung der optischen Kanäle quadratisch oder hexagonal dicht gepackt ist.  
20 14. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-den Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Positionen der Mikrolinsen und der Detektoren lithographisch genau definiert sind.  
25 15. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehen-den Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Kanä-

le voneinander optisch isoliert sind.

16. Bilderfassungssystem nach dem vorhergehenden Ansprüche,

5

dadurch gekennzeichnet, dass die optische Isolierung durch lithographisch hergestellte Trennwände erfolgt.

10

17. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

15

dadurch gekennzeichnet, dass die Detektoren als ein CCD, ein CMOS-Photosensorarray und/oder ein aus einem Polymer bestehenden Photosensorarray vorliegen.

20

18. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

25

19. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

30

dadurch gekennzeichnet, dass die optischen Kanäle jeweils mehrere Detektoren unterschiedlicher Funktion aufweisen.

20. Bilderfassungssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche,

5 dadurch gekennzeichnet, dass hinter den Mikrolinsen und unmittelbar vor den Detektoren Lochblenden angeordnet und so positioniert sind, dass jeder Mikrolinse mindestens eine Lochblende zugeordnet ist.

10

21. Bilderfassungssystem nach dem vorhergehenden Anspruch,

15

dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis der aktiven Fläche des Detektors zur aktiven Fläche der Mikrolinse zur Festlegung von Lichtstärke und Auflösungsvermögen durch die Lochblende einstellbar ist.

20

22. Bilderfassungssystem nach dem vorhergehenden Anspruch,

25

dadurch gekennzeichnet, dass die Lochblenden einen Durchmesser im Bereich von 1 bis 10 µm besitzen.

23. Bilderfassungssystem nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche,

30

dadurch gekennzeichnet, dass die Lochblende aus einer Metall- oder Polymerbeschichtung oder Kombinationen hiervon hergestellt ist.

24. Verwendung des Bilderfassungssystems nach einem der vorhergehenden Ansprüche in Uhren, tragbaren Computern, z.B. Notebooks oder PDAs, Mobiltelefonen, Brillen, Kleidungsstücken oder Chipkarten, als Aufkleber, in der Medizintechnik oder im Automotive-Bereich.
- 5
25. Verwendung nach Anspruch 24 zur Überwachung, Sicherheitstechnik und Durchsetzung von Zugangs- und Nutzungsberechtigungen.
- 10

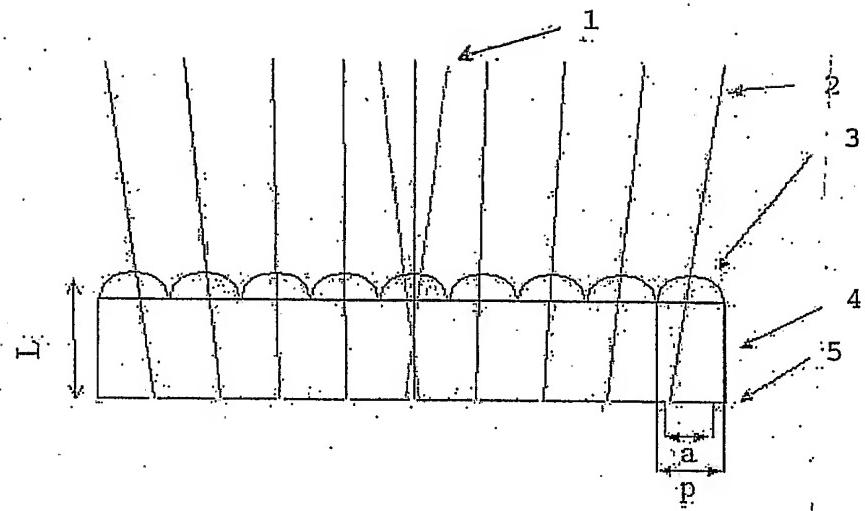


Fig. 1

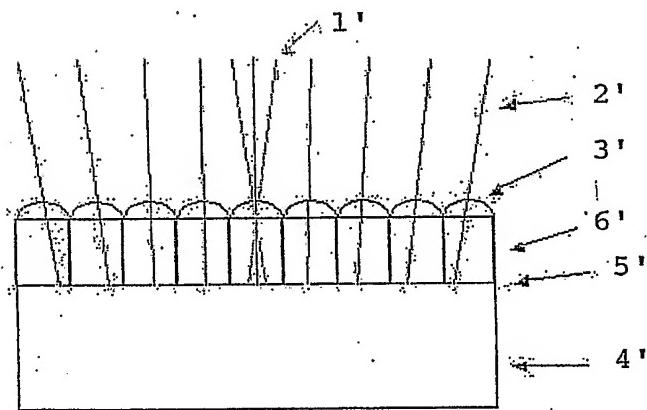
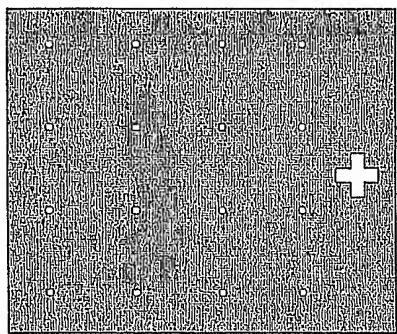


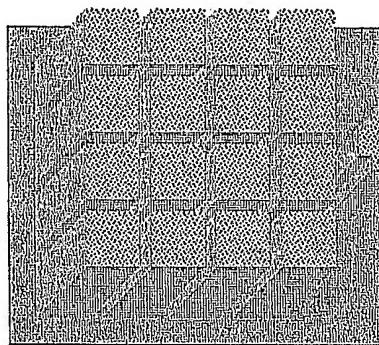
Fig. 2

3/7

7



8



9

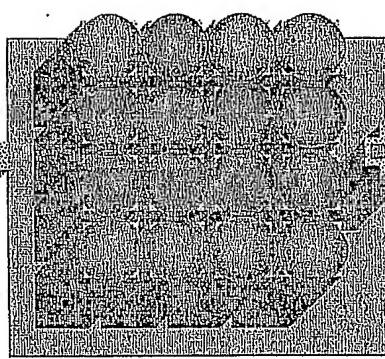


Fig. 3

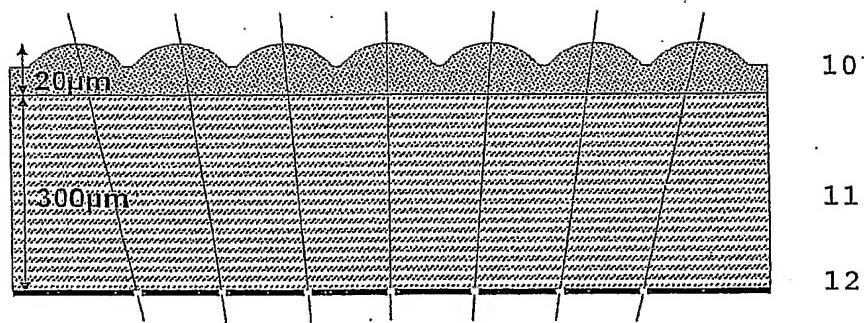


Fig. 4

5/7

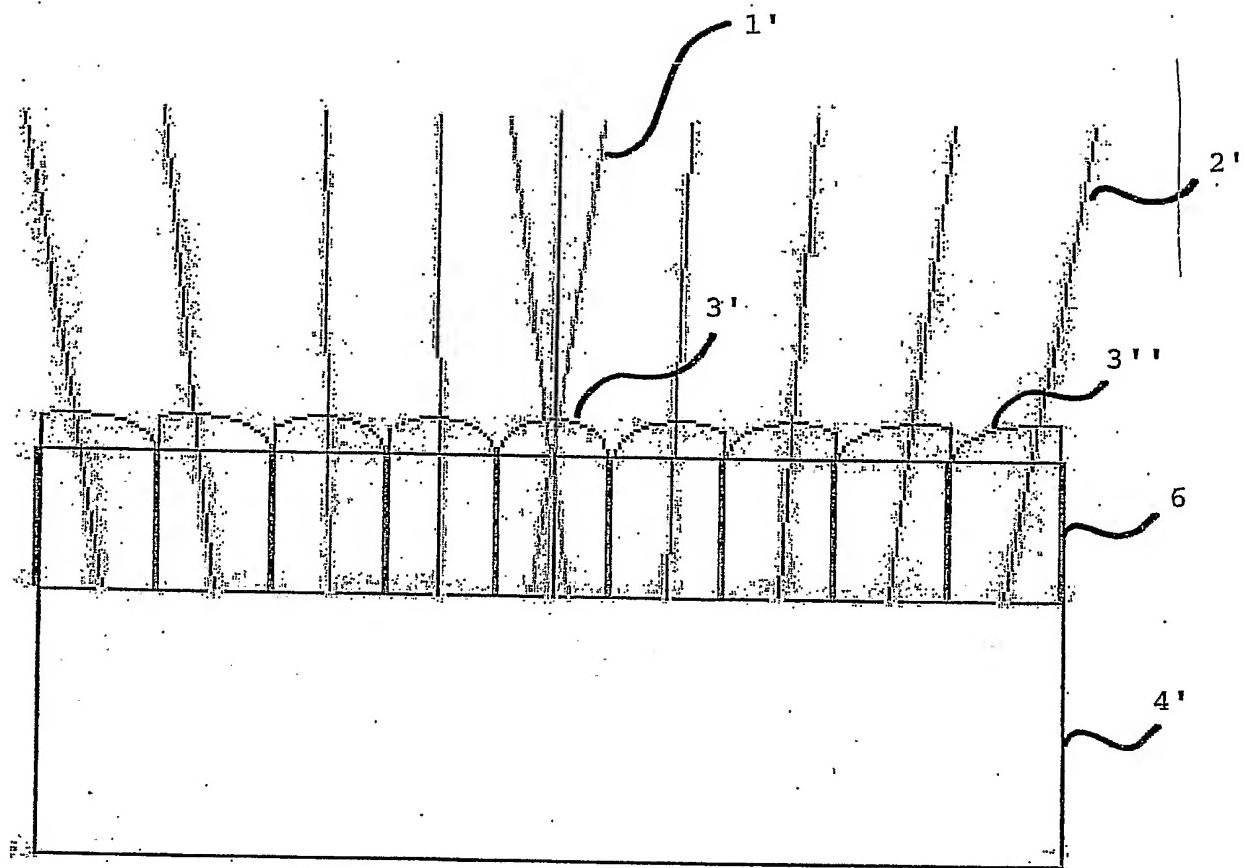


Fig. 5

6/7

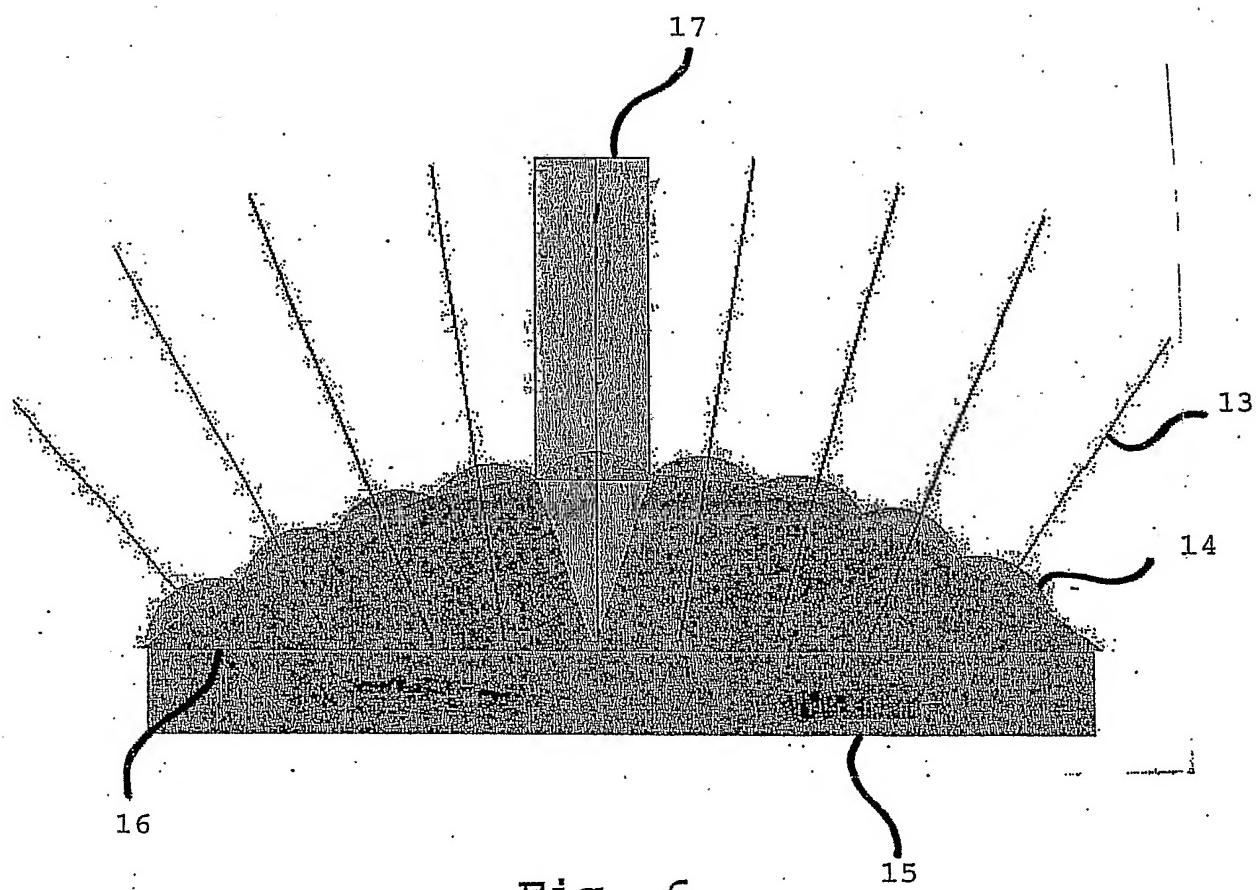


Fig. 6

7/7

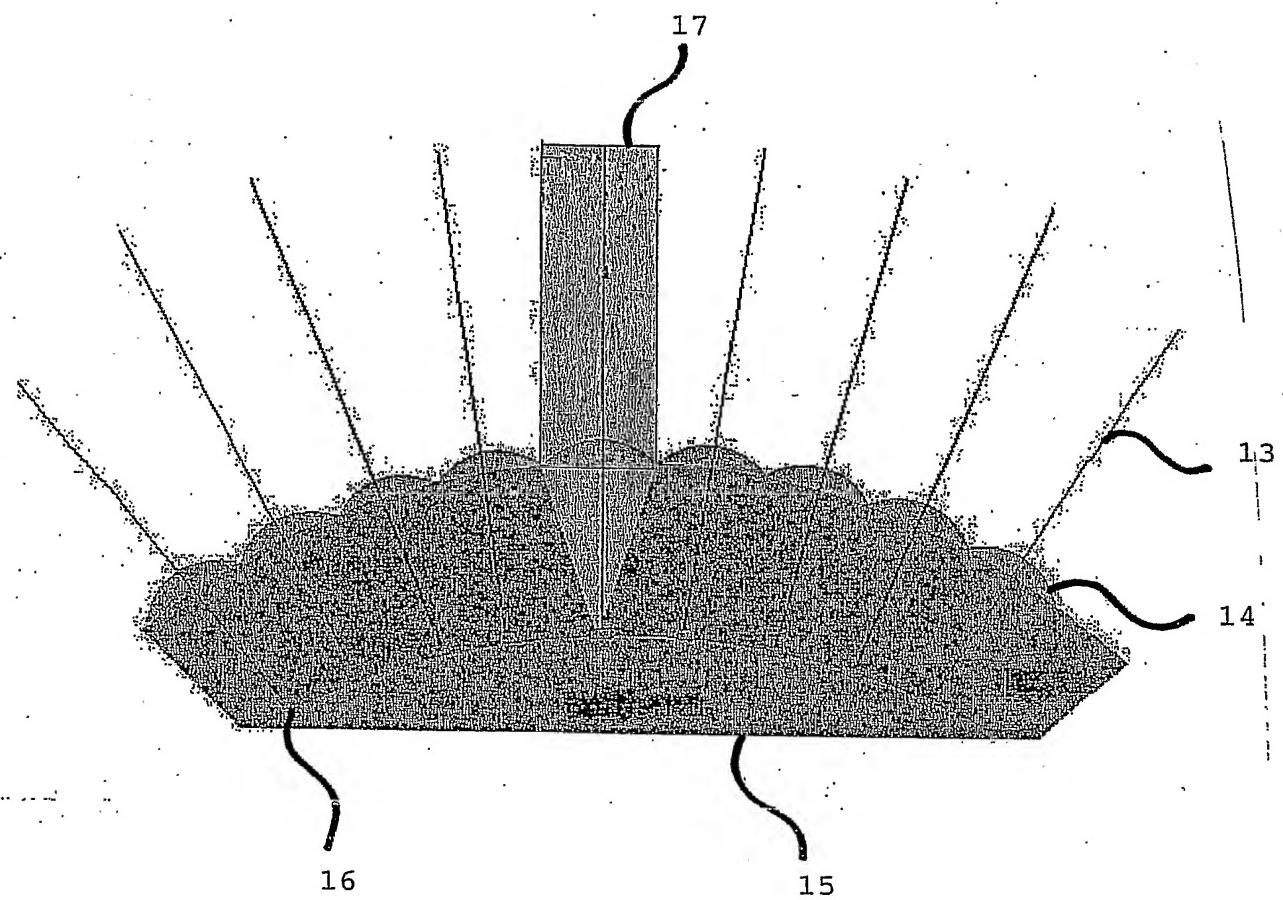


Fig. 7